



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Urbana

Curso de Graduação em Engenharia Urbana



Mariana Silva Gomes

ESTUDO DE CASO: OBRAS URBANAS ENVOLVENDO TALUDES ROCHOSOS NO REASSENTAMENTO DE PARACATU DE BAIXO

Ouro Preto

2024

Estudo de caso: Obras Urbanas envolvendo taludes rochosos no Reassentamento
de Paracatu de Baixo

Mariana Silva Gomes

Projeto Final de Curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Urbana
na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 15/02/2024

Áreas de concentração: Geotecnia e Planejamento Urbano

Orientador: Prof. Dr. Pedro Manuel Alameda Hernandez – UFOP

Co-orientador: Prof. Dr. Christiano Ottoni Carvalho - UFOP

Ouro Preto

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G633e Gomes, Mariana Silva.

Estudo de caso [manuscrito]: obras urbanas envolvendo taludes rochosos no reassentamento de Paracatu de Baixo. / Mariana Silva Gomes. - 2024.
51 f.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Manuel Alameda Hernández.

Coorientador: Prof. Dr. Christano Ottoni Carvalho.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Planejamento urbano. 2. Espaços públicos. 3. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade. I. Hernández, Pedro Manuel Alameda. II. Carvalho, Christano Ottoni. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Mariana Silva Gomes

Estudo de caso: obras urbanas envolvendo taludes rochosos no reassentamento de Paracatu de Baixo

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Urbano

Aprovada em 15 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Dr Pedro Manuel Alameda Hernández- Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr. Christiano Ottoni de Carvalho - Coorientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr. Yuri Queiroz Abreu Torres - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Eng. Larissa Sant'ana Machado - (Scala Data Centers)

Pedro Manuel Alameda Hernández, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Manuel Alameda Hernandez, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/04/2025, às 09:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0894413** e o código CRC **2B86691C**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.001690/2024-97

SEI nº 0894413

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: (31)3559-1471 - www.ufop.br

RESUMO

Devido à demanda crescente por otimização dos espaços urbanos, impulsionada pelo aumento populacional e o avanço da urbanização, destaca-se a importância do planejamento urbano para a melhoria da qualidade de vida da população. Considerando a expansão dos espaços urbanos, é notória, frente a fenômenos ambientais recorrentes em várias cidades, a necessidade de levar em conta, dentre outros fatores, o aspecto geológico e geotécnico local ao realizar o uso e ocupação do solo, a fim de garantir a segurança frente aos diversos movimentos de massa recorrentes. Parte considerável deste impasse supracitado ocorre em locais com fluxo de pessoas, como em vias de acesso, por exemplo, tornando-se essencial a realização de estudos geotécnicos e geológicos antes de se urbanizar um local ou mesmo realizar modificações no mesmo. Estes desempenham um papel essencial tanto na escolha de técnicas de estabilização de maciços quanto na contenção dos mesmos. Nesse contexto, o presente estudo, com fins exclusivamente acadêmicos, focalizou um caso prático de intervenção urbana envolvendo taludes rochosos localizados em uma via de acesso ao Reassentamento de Paracatu de Baixo. O objetivo deste trabalho consistiu no estudo de caso das obras para execução da estabilização do talude rochoso. Adicionalmente, realizou-se uma breve análise do planejamento urbano adotado nas definições do reassentamento. Para atingir o propósito delineado, foram empregadas diversas abordagens metodológicas, incluindo a revisão bibliográfica, levantamento de dados provenientes de artigos, dissertações, teses e observação participante. Mediante as análises realizadas, pode-se concluir a importância do envolvimento da sociedade no planejamento urbano e das adequações de projeto condizentes com a realidade do local, bem como a necessidade de manter a segurança nos taludes e, no local de interesse deste estudo, essa segurança foi encontrada com a utilização de tirantes, elevando o Fator de Segurança de 1,022 para 1,509.

Palavras-chaves: Planejamento Urbano. Estabilidade de taludes. Retroanálise.

ABSTRACT

Due to the growing demand for optimization of urban spaces, driven by population growth and the advancement of urbanization, the importance of urban planning for improving the population's quality of life stands out. Considering the expansion of urban spaces, it is clear, in the face of recurring environmental phenomena in several cities, the need to take into account, among other factors, the local geological and geotechnical aspect when carrying out the use and occupation of land, in order to guarantee the security in the face of various recurring mass movements. A considerable part of this aforementioned impasse occurs in places with a flow of people, such as on access roads, for example, making it essential to carry out geotechnical and geological studies before urbanizing a place or even making changes to it. These play an essential role both in the choice of mass stabilization techniques and in their containment. In this context, the present study academical focused on a practical case of urban intervention involving rocky embankments located on an access road to the Paracatu de Baixo Resettlement. The objective of this work was to study the case of works to stabilize the rock slope. Additionally, a brief analysis of the urban planning adopted in the resettlement definitions was carried out. To achieve the outlined purpose, several methodological approaches were used, including bibliographic review, data collection from articles, dissertations, theses and participant observation. Through the analyzes carried out, it can be concluded the importance of society's involvement in urban planning and project adjustments consistent with the local reality, as well as the need to maintain safety on slopes and, in the location of interest in this study, this safety was found with the use of tie rods, increasing the Safety Factor from 1.022 to 1.509.

Keywords: Urban Planning. Slope stability. Retroanalysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização – Reassentamento Paracatu de Baixo.....	3
Figura 2 – Local do Reassentamento em 2014.....	4
Figura 3 – Local do Reassentamento em 2033.....	5
Figura 4 - Sistema viário – Reassentamento Paracatu de Baixo.....	7
Figura 5 - Sistema viário.....	8
Figura 6 – Geologia local	10
Figura 7 – Mapa de declividade.....	11
Figura 8 – Hidrografia.....	12
Figura 9 - Localização da trincheira.....	12
Figura 10 - Esquema de Abordagem Multiescalar e Filtros Culturais.....	14
Figura 11 - Fatores de segurança (FS) mínimos para deslizamentos	17
Figura 12 – Mapa dos distritos limítrofes.....	22
Figura 13 - Representação dos taludes.....	23
Figura 14 - Localização da trincheira – vista distante.....	24
Figura 15 - Localização da trincheira – vista aproximada.....	25
Figura 16 - Localização das sondagens em relação ao talude.....	25
Figura 17 - Seções típicas do sistema viário do reassentamento.....	32
Figura 18 - Separação das discontinuidades em famílias.....	34
Figura 19 - Separação das discontinuidades em famílias - Talude Sul.....	34
Figura 20 - Separação das discontinuidades em famílias - Talude Norte.....	35
Figura 21 - Cálculo do FS no Talude Sul – onde houve ruptura.....	36

Figura 22 - Cálculo do FS após inserção dos tirantes.....	36
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
a OBJETIVOS	2
b Objetivo Geral.....	2
c Objetivos Específicos	2
d Área de Estudo.....	2
e Geologia Local.....	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
a Planejamento Urbano e Urbanização.....	10
b Estabilidade de Taludes	13
i Análise Cinemática.....	13
ii Equilíbrio Limite	14
iii Parametrização de maciços rochosos com fins de análise de estabilidade.....	17
3. METODOLOGIA	19
a Avaliação das Normativas Urbanísticas	19
b Inserção Regional.....	22
c Análise da Estabilidade do Talude	20
4. RESULTADOS.....	26
a Avaliação das Normativas Urbanísticas	26
b Análise da Inserção regional	29
c Análise da Estabilidade dos Taludes.....	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35

6.	REFERÊNCIAS.....	36
----	------------------	----

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das zonas urbanas planejadas, como é o caso dos reassentamentos, tem exigido cada vez mais a necessidade da garantia da qualidade e sustentabilidade econômica e ambiental dos espaços urbanos, além de seus devidos aproveitamentos e usos. Esse cenário recorrente em várias cidades, muitas vezes resulta na necessidade de abertura de novas vias, construção e ampliação de equipamentos urbanos, além da ocupação de subsolos para otimização dos espaços, entre outros. E, para que isso se torne possível, o planejamento urbano se torna uma peça indispensável para o desenvolvimento destes locais, aliado a conhecimentos de diversas áreas, como a geologia e geotecnia (BOARETO, 2008).

O planejamento urbano e regional é um modo de melhorar a qualidade de vida da sociedade, fazendo com que cada vez mais os benefícios deste instrumento sejam notados, fazendo com que impasses recorrentes sejam mitigados, como os de natureza geológica/geotécnica. Como exemplo, pode-se listar o caso do subdistrito de Paracatu de Baixo, área de interesse deste trabalho, pertencente ao distrito de Monsenhor Horta, localizado no município de Mariana, Minas Gerais, que foi atingido pelo rompimento da barragem de Fundão em 05 de novembro de 2015, propriedade da mineradora Samarco S.A (LOPES, 2016).

Os habitantes do subdistrito foram realocados para propriedades na zona urbana da cidade de Mariana, em imóveis alugados pela Fundação Renova, que foi fundada pelas mineradoras com o objetivo de reparar os danos causados à população. A nova escolha do terreno onde seria o reassentamento, segundo Fundação Renova (2023), foi realizada por meio de votação em setembro de 2016, onde foram ofertados três terrenos próximos à antiga Paracatu de Baixo, e apenas um foi escolhido pelos atingidos, sendo ele denominado como “terreno de Lucila”, estando 2,2 quilômetros de distância da comunidade atingida. O reassentamento manteve a ligação rodoviária de comunicação com o distrito sede em quase todo o percurso, exceto a distância de aproximadamente 5km antecedendo o distrito atingido, onde foi realizada a abertura de nova via de acesso, ligando o reassentamento à rodovia principal. A escolha visou preservar as características regionais, as ligações socioafetivas com o local e suas proximidades, e com a população vizinha.

O Reassentamento de Paracatu de Baixo possui um terreno de 84,8 ha e está localizado a 35km de Mariana. A comunidade não renunciou à sua ruralidade, que é uma das principais características dos moradores. Logo, o reassentamento foi proposto como sendo de uso do solo misto, tendo uma parte como urbana onde estarão localizados principalmente os equipamentos de uso públicos, e as outras áreas sendo caracterizadas como área rural, de acordo com Fundação Renova (2023).

Dentre os projetos de reassentamento da comunidade, está a abertura de nova via de acesso, onde há uma execução denominada como “obra da trincheira”, com dois taludes em rocha, aqui denominados Talude Sul e Talude Norte, que será objeto de estudo deste trabalho, descrito em sequência.

a **OBJETIVOS**

b **Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho é o estudo da estabilização de maciços rochosos em acessos urbanos, tendo como estudo de caso um talude construído em rocha no Reassentamento de Paracatu de Baixo, distrito de Mariana, Minas Gerais.

c **Objetivos Específicos**

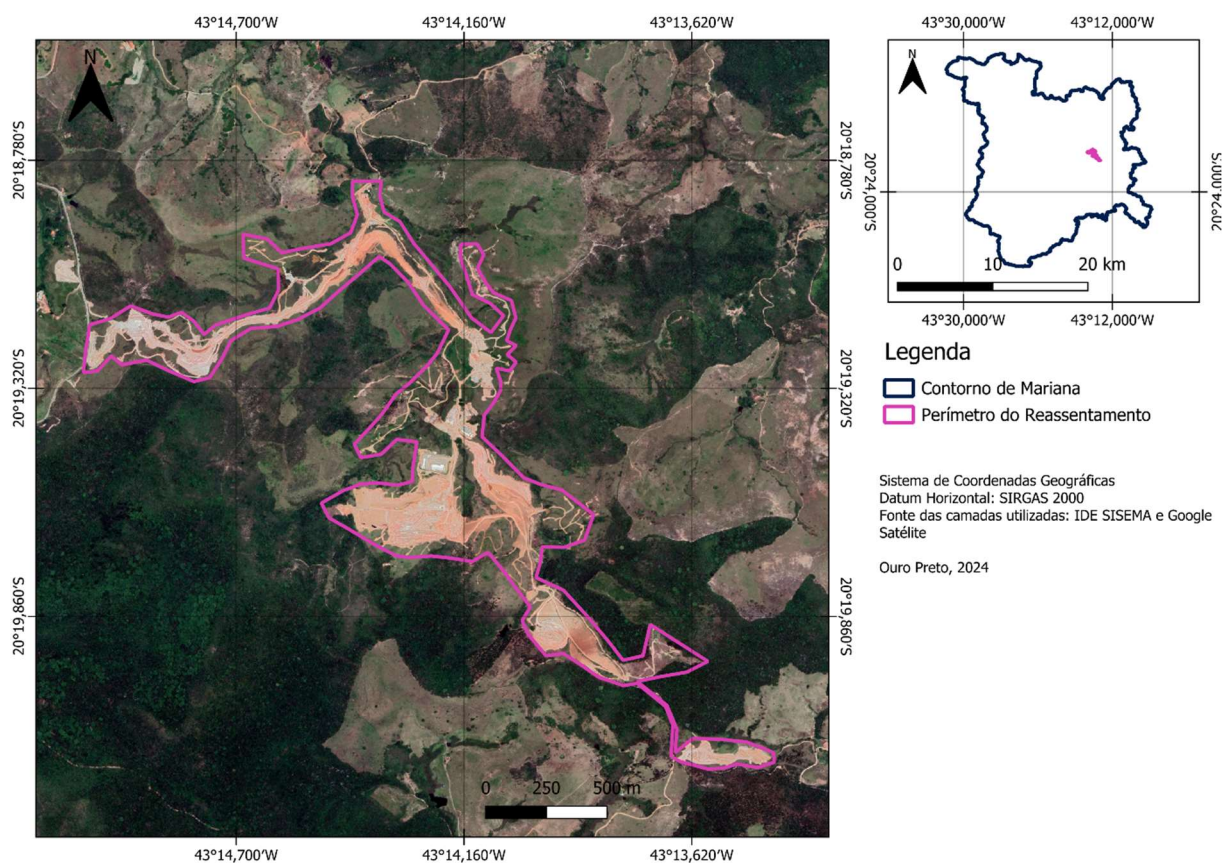
- Realizar uma análise das normativas urbanísticas do reassentamento com base nas leis municipais vigentes.
- Caracterizar a geologia do local;
- Reunir relatórios geotécnicos para coleta de orientações e dimensões relativas das descontinuidades encontradas no local onde foi realizada a estabilização do talude rochoso, assim como as sondagens realizadas no terreno;
- Obtenção dos parâmetros necessários para classificar os maciços rochosos por análises cinemáticas, análises por equilíbrio limite e retroanálise;

d **Área de Estudo**

O local escolhido como objeto de estudo deste trabalho é o Reassentamento de Paracatu de Baixo, subdistrito de Monsenhor Horta, distrito de Mariana, visualizado por meio da Figura 1, local que foi palco do evento ambiental ocorrido em 2015, já

descrito neste trabalho. Para a implementação da “Nova Paracatu de Baixo” foi necessária a construção de toda a infraestrutura, seguindo todas as etapas de planejamento e projeto.

Figura 1 – Mapa de Localização – Reassentamento Paracatu de Baixo



A construção de uma nova cidade ou assentamento é objeto raro nos processos de urbanização contemporâneos, estes geralmente se dando em áreas já consolidadas ou em partes/parcelas de cidades existentes. Vários são os critérios de análise, inserindo esta tarefa no rol das Utopias Urbanísticas do século XIX. No caso aqui em questão alguns critérios devem ser levados em consideração, destacando-se as relações de vizinhança observadas no assentamento original complementados por alguns critérios de planejamento e desenho urbanos acrescidos de uma criteriosa análise de riscos, fundamentada no campo da geotecnia aplicada.

Assim, o planejamento do assentamento foi iniciado com a decisão do terreno para sua implantação, sendo este uma escolha realizada pelos moradores que residiam em Paracatu no momento do rompimento da barragem. Após a regularização

da documentação, se deu início às oficinas de construção coletiva, onde foram definidas relações de vizinhança, áreas comuns e equipamentos públicos, por meio de um parcelamento do terreno (FUNDAÇÃO RENOVA, 2023).

No Reassentamento de Paracatu de Baixo, visou-se manter as características tanto do local, quanto da população. Os moradores solicitaram que fossem mantidas, além da forma original da comunidade, as relações de vizinhança entre os moradores e com as comunidades próximas, tendo em vista que em sua maioria são parentes, amigos ou conhecidos próximos.

A ligação entre o Reassentamento e os distritos vizinhos, tal como a sede, envolve aspectos sociais, econômicos e culturais. Através da nova malha rodoviária, é possível que os moradores mantem vínculo com as proximidades a fim de conseguir desenvolver suas atividades diárias, sendo elas com trabalho, saúde de qualidade, educação, itens de necessidades básicas, entre tantas outras coisas.

A definição da ocupação da área levou em conta diversos elementos, incluindo as características do terreno, as áreas de proteção, a legislação vigente e a estrutura da comunidade original de Paracatu de Baixo. Embora todas as condicionantes tenham grande importância, o cerne do processo de reassentamento foi pautado na reconstrução da comunidade de forma semelhante à sua configuração original. Observa-se pela Figura 2 o local do reassentamento antes do evento ocorrido em 2020 e, pela Figura 3 o espaço em construção (EARTH, 2023).

Figura 2 – Local do Reassentamento em 2014/2024



Fonte: Adaptado de Google Earth (2014/2024)

O ponto de partida para o projeto urbanístico foi o entendimento do antigo núcleo e sua organização, articulação viária e caminhos, disposição dos lotes e equipamentos existentes, de modo que fosse mantido o máximo possível da originalidade do local. O planejamento do Reassentamento foi realizado levando em consideração a quantidade de 145 famílias, totalizando aproximadamente 550 pessoas (FUNDAÇÃO RENOVA, 2023).

Foram realizadas várias reuniões com o intuito de incorporar adaptações essenciais ao projeto urbanístico, visando conferir à "nova" Paracatu de Baixo uma maior semelhança com a configuração original. Durante esses encontros, as famílias compartilharam informações importantes, como as dimensões e limites dos terrenos, incluindo suas variações de declive. Além disso, houve discussões sobre a disposição das vias e dos quarteirões, bem como a designação delas, e ainda a definição dos locais destinados a espaços de uso coletivo. Cabe destacar que, como se trata de um reassentamento, manter as condições proferidas pelos moradores apresenta certo curso, devido ao fato de trabalhar com um local a ser reconstruído, adequando ao máximo a sua forma original.

A percepção do antigo núcleo foi referência para o projeto e, ao cruzar estas informações com as características do lugar e legislação específica (Lei Complementar nº 170 de 21 de dezembro de 2017) (MARIANA, 2023), determinou-se o projeto em questão. Embora o projeto atual tenha como base a configuração da antiga comunidade, foram necessárias adaptações em virtude das características do terreno atual, respeitando as áreas de proteção e restrições existentes.

e **Geologia Local**

Se tratando dos aspectos geológicos presentes no município de Mariana, suas adjacências pertencem a unidades litoestratigráficas pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero (QF) na base, composto pelas unidades como: embasamento, seguido pelos Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço. O QF possui uma área de aproximadamente 700 km², e seu embasamento Arqueano é formado por terrenos gnaisses tonalítico graníticos (ROESER & ROESER, 2010), aflorando em estruturas dômicas.

As principais unidades geológicas que ocorrem na região de Mariana no estado de Minas Gerais, são:

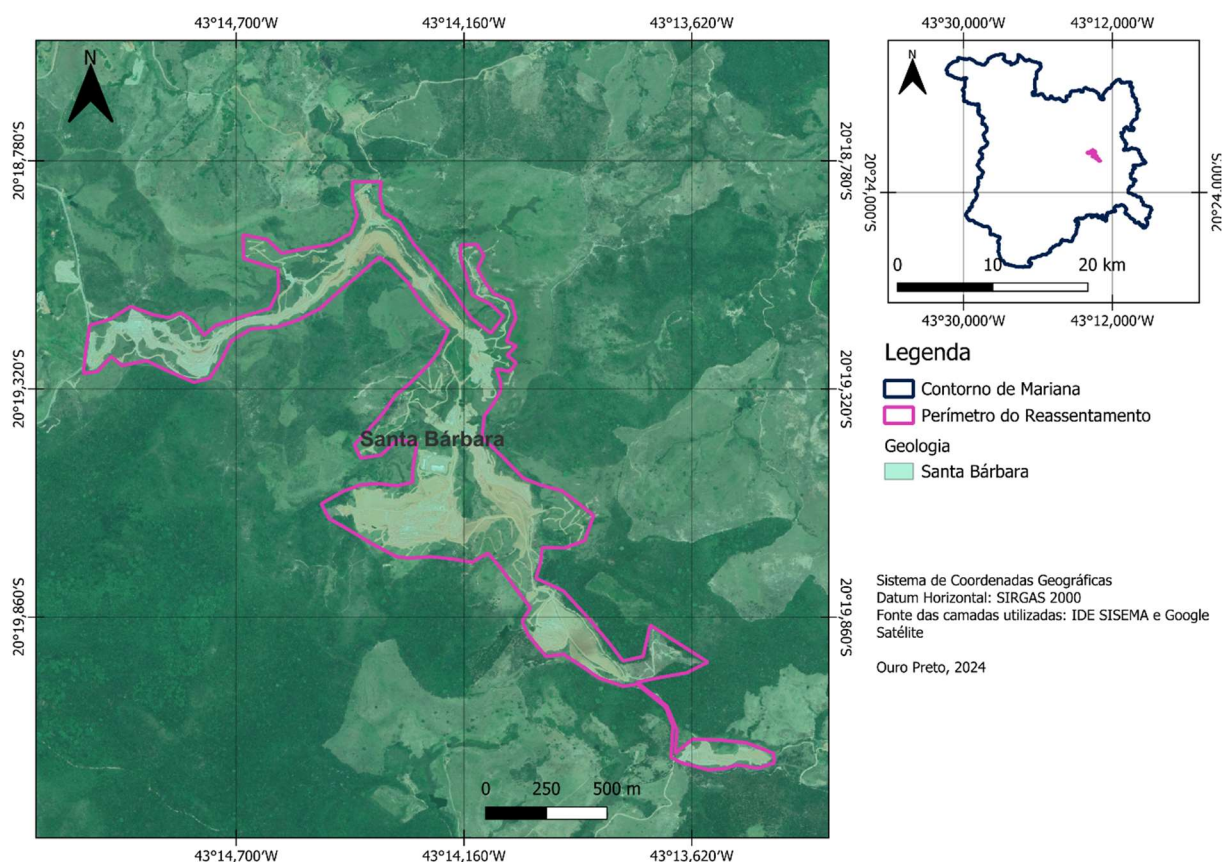
1. **Supergrupo Rio das Velhas:** De acordo com Alkmim & Marshak (1998) o supergrupo pertence ao Arqueano composta por lava riolítica, basalto, komatitos e rochas sedimentares intercaladas. As rochas metamórficas desta unidade apresentam paragêneses variando de fácies xisto verde a anfibolito inferior.
2. **Supergrupo Minas:** O Supergrupo Minas, seguindo para o topo, é representada por conglomerado alternado com arenitos e sobrepostos por pelitos, analisados em análise estratigráfica como uma gradação ascendente de águas profundas, ambiente deposicional do Grupo Tamanduá, à mais rasas do Grupo Caraça (ALKMIM e MARSHAK, 1998). Seguido por rochas carbonáticas e Formação Ferrífera. O Grupo Piracicaba ocorre a seguir com conglomerados basais, conglomerados intraformacionais com seixos de itabirito e dolomito (DORR, 1969). Por fim, ao topo, o Grupo Sabará constituído de turbiditos, tufos vulcanoclastica, conglomerados e diamictitos.
3. **Grupo Itacolomi:** Constituído de rochas quartzitos, metaconglomerados e grit (DORR, 1969), sendo esta unidade separada do Supergrupo Minas de acordo com a descontinuidade angular em que apresenta
4. **Complexo Acaiaca:** As rochas que compõem este complexo são predominantemente granulitos distribuídos em uma área de, no mínimo, 36 km de extensão NS e 6 km de espessura na porção central (MEDEIROS JÚNIOR e EVANGELISTA, 2010). Os granulitos foram classificados como granulitos félsicos, máficos, ultramáficos e aluminosos, sendo o maior grau metamórfico em fácies granulito sucedido por eventos metamórficos em que partes dos granulitos foram transformados em gnaisses de fácies anfibolito (MEDEIROS JÚNIOR e EVANGELISTA, 2010).
5. **Complexo Monsenhor Isidro:** Segundo Heineck *et al.* (2003), esta unidade litoestratigráfica do Paleoproterozóico é marcada por rochas máficas e ultramáficas em que são cortadas por corpos granitóides.

O talude de interesse deste estudo apresenta, em ambos os lados, suas duas primeiras bermas construídas em gnaiss de composição calciosilicática, composto

pela alternância de bandas máficas, compostas por biotita, flogopita e anfibólio (hornblenda-actinolita) e bandas félsicas compostas por quartzo, plagioclásio e carbonatos (calcita e dolomita). A foliação Sn encontra-se intensamente dobrada com dobras assimétricas, localmente com flancos rompidos e pares S-C de cisalhamento.

Em relação ao local de interesse deste trabalho, temos a presença apenas do grupo geológico Santa Barbara, visualizado por meio da Figura 6.

Figura 6 – Geologia Local

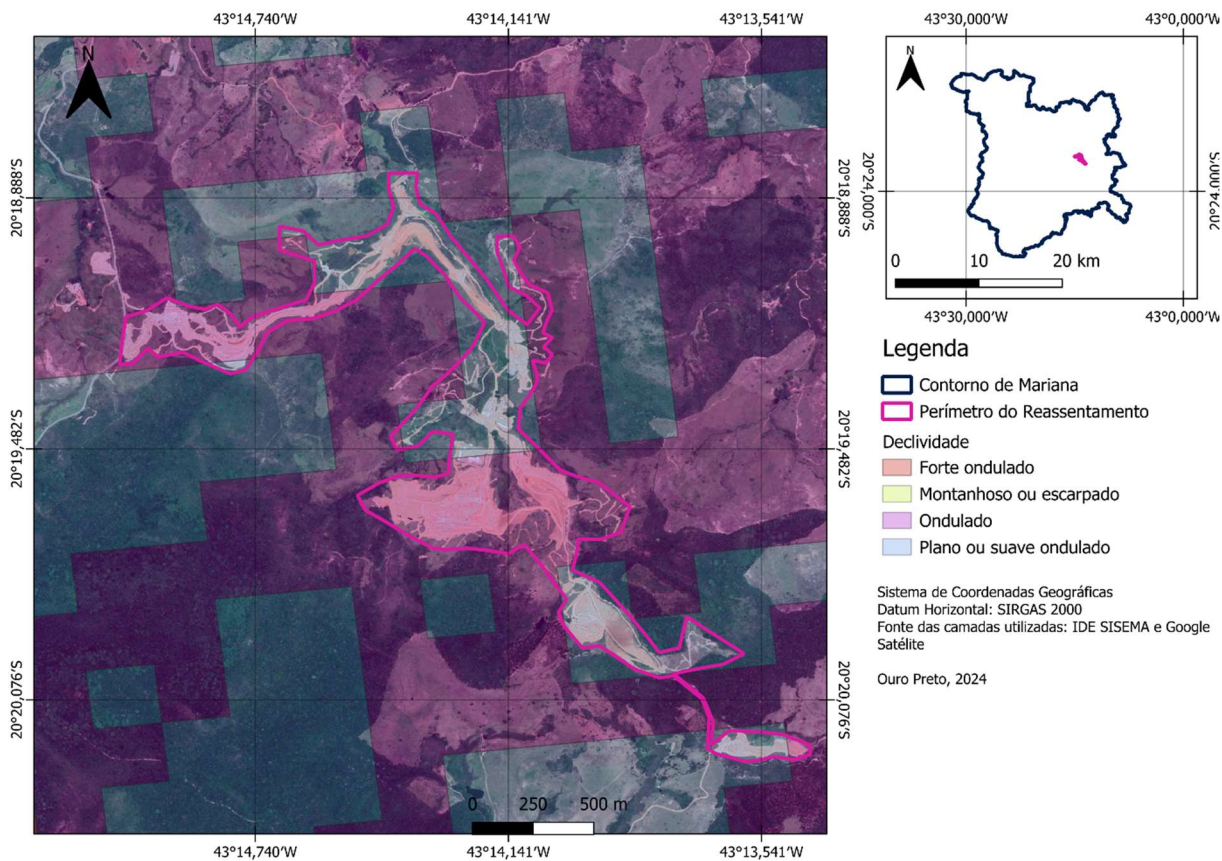


Fonte: Autora (2024)

Nas etapas do planejamento urbano, foi verificada a necessidade da abertura de uma nova via para garantir o acesso ao local do reassentamento. Desse modo, na abertura da nova via de acesso, que será de grande importância para os deslocamentos dos moradores do reassentamento, localizada na rodovia Monsenhor Horta, foram considerados diversos aspectos, como a hidrografia e o perfil de declividade do terreno, visualizados por meio das Figuras 7 e 8, respectivamente. Foi realizada a estabilização de maciços rochosos, que ficou denominado e conhecido

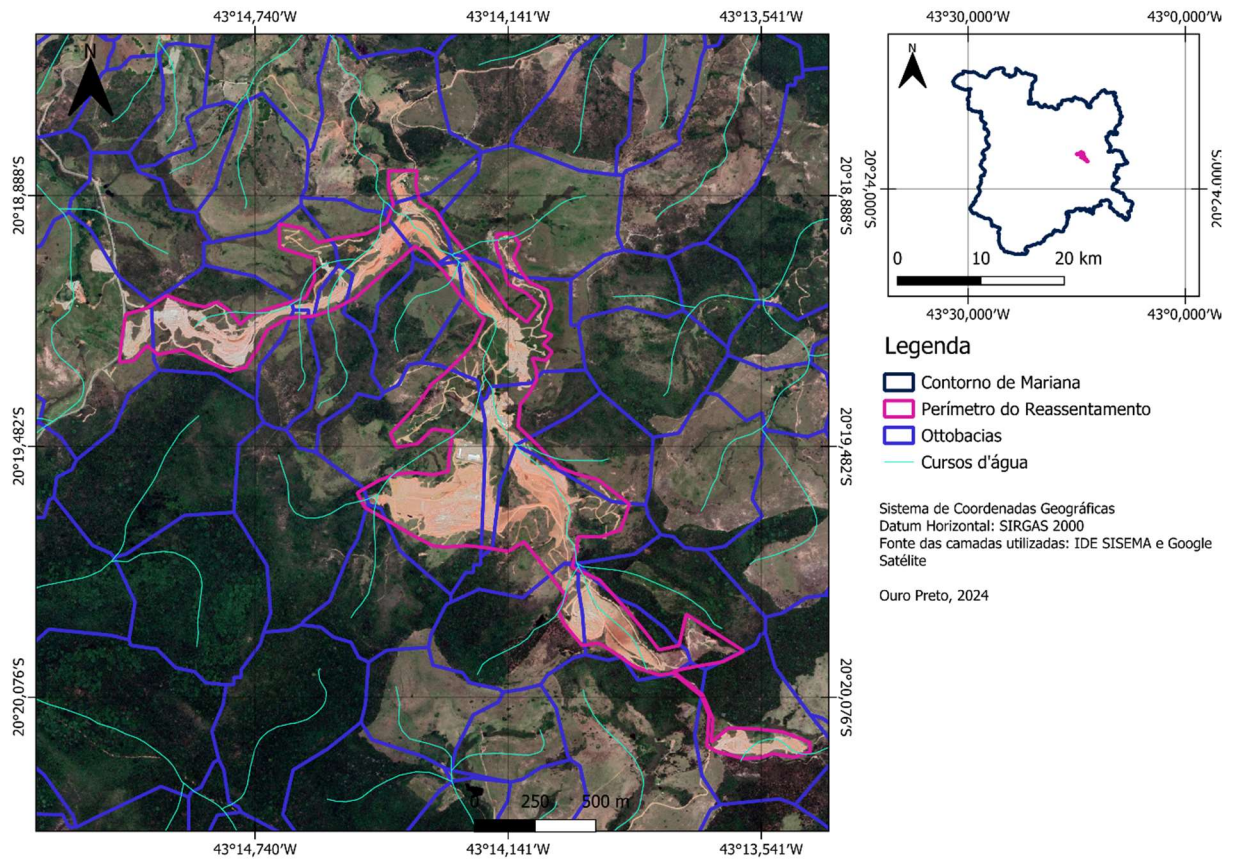
popularmente como “obra da trincheira”, local em que está localizado os taludes de interesse deste trabalho, representado pela Figura 9.

Figura 7 – Mapa de declividade



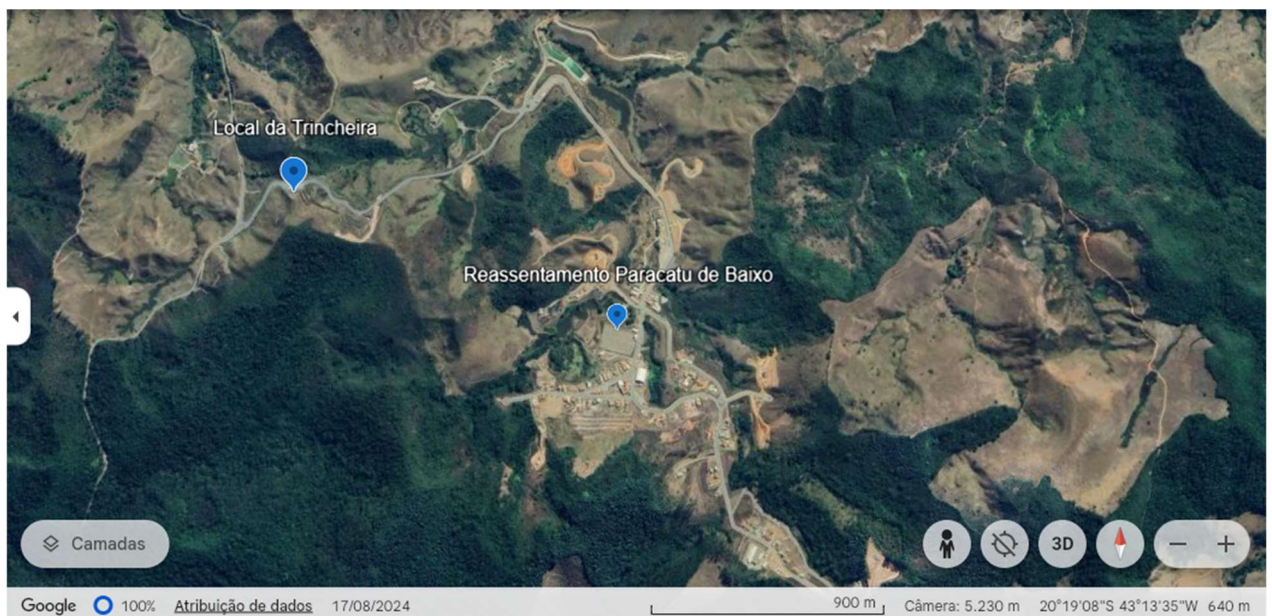
Fonte: Autora (2024)

Figura 8 - Hidrografia



Fonte: Autora (2024)

Figura 9 – Localização da trincheira



Fonte: Adaptado de Google Earth (2024)

2. REFERENCIAL TEÓRICO

a Planejamento Urbano e Urbanização

A urbanização, em conjunto com o planejamento urbano, desempenha um papel crucial na determinação da qualidade de vida das pessoas. No entanto, quando esse processo é conduzido de maneira inadequada, pode acarretar uma série de desafios prejudiciais à sociedade, conforme enfatizado por Júnior (2014). Tal como o que se refere este trabalho, tem-se alguns outros exemplos de reassentamentos já executados em outras instâncias, sendo eles involuntários, tendo que ser realizado por motivo de algum fator externo, seja ele riscos ambientais, expansão urbana, desapropriação para projetos públicos ou privados, desastres, e outros motivos.

Tem se como um dos exemplos práticos de Reassentamento Urbano, a instalação da Usina de Belo Monte em Altamira, PA, onde removeu-se famílias que viviam nas zonas alagadiças dos igarapés, o que acarretou mudanças no estilo de vida da população, gerando uma cadeia de problemas (SOUZA, 2011). Sendo eles, desemprego, devido à segregação socioespacial que dificultou o deslocamento da população para as regiões centrais, aumento da pobreza acarretado pelo desemprego, violência, degradação da saúde, distanciamento social, ruptura dos vínculos emocionais com vizinhos e familiares, entre outros.

Outro exemplo de reassentamento urbano foi o reassentamento de Itá realizado devido à construção da Usina Hidrelétrica de Itá, no rio Uruguai. O projeto resultou na remoção de cerca de 1.200 famílias que viviam em áreas que seriam submersas pelo reservatório, sendo as mesmas transferidas para outras localidades (RODRIGUES, 2020). O processo, assim como o exemplificado acima, também acarretou diversos problemas, sendo o principal deles a falta de infraestrutura adequada para a moradia das famílias, gerando também perda de vínculos socioeconômicos e culturais com a terra e o rio, essenciais para o modo de vida local. De acordo com Kuenzer (2002), o reassentamento foi mal planejado e causou significativas consequências sociais e culturais para as comunidades afetadas.

Estes desafios incluem a falta de infraestrutura necessária para sustentar um ambiente que promova elevados padrões de qualidade ambiental. É fundamental

abordar esses problemas, visando um desenvolvimento urbano mais sustentável e equilibrado, capaz de garantir o bem-estar coletivo e a preservação do ambiente.

Sendo assim, tem-se que o planejamento urbano de uma cidade visa melhorar a qualidade de vida da população, o desenvolvimento das cidades, e a melhor utilização do espaço urbano. Para efetivar um planejamento urbano de forma eficaz inclusive em áreas de reassentamento urbano, indo além da mera documentação, é essencial adotar soluções funcionais e práticas. Conforme destacado por Santos (2006), para atender às demandas emergentes e as mudanças nas necessidades da comunidade, tais soluções devem ser constantemente aprimoradas, evoluindo ao longo do tempo.

A falta de planejamento urbano resulta na ocupação desordenada, acarretando desafios significativos relacionados à mobilidade. Em um contexto de reassentamentos, um processo mal planejado pode induzir a distorções imobiliárias, processos de gentrificação e de descaracterização que alteram as dinâmicas sociais e econômicas do local. A concentração excessiva de pessoas e atividades em áreas específicas inevitavelmente leva a congestionamentos e dificuldades de locomoção, sendo este problema atribuível à ausência de infraestrutura apropriada. Este cenário impacta diretamente a qualidade de vida dos residentes e trabalhadores da região, conforme apontado por Santos (2006).

O impacto que uma área reassentada pode promover nas dinâmicas urbanas de seu entorno pode levar a fenômenos de esvaziamento ou explosão demográfica, alterando o seu planejamento inicial. Os perigos associados à ocupação desordenada das cidades são abundantes, como evidenciado recentemente pelos deslizamentos em Petrópolis - RJ, ocorridos em fevereiro de 2022. Este evento resultou em mais de 200 vítimas, além de causar consideráveis danos materiais, conforme ressaltado por Blaudt, Alvarenga e Garin (2023). Tais deslizamentos são apenas um exemplo, pois inúmeras ocorrências similares acontecem anualmente no país. Diante disso, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para a estabilização dos taludes para garantir segurança e qualidade de vida à população.

O caso abordado no presente estudo exemplifica um modelo de planejamento abrangente, fundamentado tanto na memória da comunidade local quanto na análise do meio físico. O ordenamento territorial se respalda na avaliação dos riscos associados ao ambiente, servindo como alicerce para as intervenções humanas a

serem concebidas, implementadas e desenvolvidas sobre essa fundação proporcionada pelo meio físico.

De fato, os componentes bióticos e antrópicos são organizados pela estrutura física que estabelece uma lógica geo-hidrológica e hidráulica. Essa abordagem, por sua vez, atua como suporte para a diversidade de flora e fauna, ao mesmo tempo em que orienta as intervenções humanas propostas.

Desse modo, destaca-se o esquema abaixo, ilustrado pela Figura 10, proposto por Carvalho (2018):

Figura 10 - Esquema de Abordagem Multiescalar e Filtros Culturais



Fonte: Carvalho (2018)

O diagrama apresentado na Figura 10 busca realizar uma análise fundamentada no ambiente físico. O objetivo é induzir, ou pelo menos deveria induzir, ações humanas mais estreitamente relacionadas aos aspectos físicos e bióticos. Esses fatores orientam as considerações projetuais, promovendo uma abordagem mais precisa para a implantação urbana e regional. O resultado esperado é um desenvolvimento mais funcional e com menor risco atribuído.

b Estabilidade de Taludes

Os constantes efeitos da urbanização, como a ocupação em locais de risco e sem o devido estudo prévio, por exemplo, traz a necessidade de intervir para contornar alguns aspectos negativos de tal evento, como por exemplo a estabilização de taludes, que tem por objetivo aumentar a segurança do mesmo (DUTRA, 2013), evitando que ocorram perdas humanas e materiais, como foi o caso do ocorrido na cidade fluminense, listada anteriormente.

A análise da estabilidade de taludes envolve a compreensão de fatores como as propriedades do solo e da rocha, os efeitos da água, a ação de cargas externas e os processos erosivos e de intemperismo (TERZAGHI, 1996). O tipo de rocha, a geometria dos blocos e a orientação das descontinuidades presentes também devem ser considerados durante a análise.

Tem-se como alguns fatores que influenciam na estabilidade de taludes, propriedade do solo e rocha, sendo a resistência ao cisalhamento do solo e dos maciços rochosos, podendo ser determinada pelo critério de Mohr Coulomb. Efeitos da água, onde o excesso de água reduz o atrito entre partículas do solo, podendo desencadear rupturas (Morgenstern & Price, 1965). E, ações externas e processos geodinâmicos, tais como terremotos, processos erosivos. Vibrações sísmicas aumentam a probabilidade de falhas, enquanto o intemperismo modifica a estrutura dos solos e rochas ao longo do tempo (TERZAGHI, 1996).

i Análise Cinemática

Nesse contexto, uma maneira de avaliar a estabilidade é através da análise cinemática, conforme definido por Oliveira & Monticelli (2018). Esta abordagem consiste em verificar a condição do talude em relação à compatibilidade geométrica com ruptura com base na orientação relativa das descontinuidades com a face do talude, especialmente considerando os tipos de ruptura que serão mencionados abaixo. Essa técnica é especialmente útil em maciços rochosos que apresentam estruturas geológicas proeminentes e através de projeções é possível simplificar e visualizar o movimento de materiais geotécnicos, facilitando a análise da estabilidade e segurança de estruturas.

É crucial realizar análises de escorregamentos passados e potenciais rupturas em taludes rochosos. Isso envolve a implementação de projetos para a estabilização de taludes já comprometidos, examinando medidas corretivas e preventivas, entre outras considerações. Torna-se indispensável conduzir uma investigação abrangente do processo, visando reconhecer e identificar fatores geológicos, incluindo os modos de ruptura, conforme detalhados em sequência (OLIVEIRA, 2010):

- Ruptura em cunha: Ocorre pela interseção de dois planos descontínuos e acontece quando o mergulho da interseção é menos íngreme que o mergulho aparente da face exposta e maior que o ângulo de atrito das descontinuidades.
- Ruptura planar: Caso da ruptura em cunha e desenvolve em um plano de descontinuidade. Ocorre quando o talude é mais íngreme que o talude da descontinuidade e a família de descontinuidades tem mergulho maior que o ângulo de atrito.
- Ruptura por tombamento: Ocorre quando descontinuidades de comprimento da ordem da altura do talude são orientadas para dentro do maciço.
- Ruptura circular: Apresenta descontinuidades de pequeno comprimento e ocorrem em taludes intensamente fraturados.

ii

Equilíbrio Limite

Para a análise dos taludes presentes neste trabalho, o Método de Equilíbrio Limite (MEL), que é definido pela representação de um Fator de Segurança (FS), sendo ele a razão entre as forças estabilizantes e as forças instabilizantes, ou momentos, leva-se em consideração a possibilidade de movimento de uma massa de solo ou rocha e verifica-se as condições sob as quais esse movimento se torna viável, com base na geometria da falha e no comportamento dos maciços rochosos.

No MEL, a teoria de Mohr Coulomb é associada para modelar o comportamento de resistência ao cisalhamento do solo ou do maciço rochoso, que é um dos principais fatores determinantes na estabilidade de taludes. Essa associação ocorre durante a análise da resistência do solo à falha, especialmente quando se busca determinar o FS de um talude, tornando-se crucial para definir sob as quais o solo pode suportar as tensões antes de ocorrer a falha. A teoria de Mohr Coulomb descreve a resistência com base em dois parâmetros principais, a coesão que representa a resistência do

solo ao cisalhamento devido às forças de coesão entre as partículas do solo, e o ângulo de atrito interno que é resistência ao cisalhamento devido ao atrito entre as partículas do solo. Pode-se aplicar também a teoria em uma superfície de ruptura do maciço rochoso determinada por uma ou várias descontinuidades.

No desenvolvimento desse processo, as projeções estereográficas, foram utilizadas para representar em 2D as estruturas dos maciços rochosos, como descontinuidades e face do talude. Neste trabalho os estereogramas de frequência foram utilizados para visualização das descontinuidades divididas por famílias. Essa ferramenta proporciona uma visualização espacial das estruturas geológicas existentes e da suscetibilidade de ruptura nos modos mencionados, conforme esclarecido por Oliveira & Monticelli (2018). Essa análise específica é detalhada posteriormente neste trabalho. Segundo os critérios de resistência ao cisalhamento, a ruptura de um elemento de solo ou rocha ocorre quando as tensões tangenciais atingem um valor limite, tendo a definição do critério de resistência ao cisalhamento (τ) dado pela Equação 1, descrita no critério de resistência de Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma_n * \tan(\phi) \quad 1$$

Onde:

τ é a resistência ao cisalhamento;

c é a coesão;

σ_n é a tensão normal (componente normal das tensões no ponto analisado);

ϕ é o ângulo de atrito interno

Para saber se o material dos taludes está em condição de ruptura, analisamos a estabilidade do talude por meio do FS e, quando o mesmo é visualizado, percebe-se que, caso as forças instabilizantes for menor que as forças estabilizantes, o valor de FS será maior que 1, trazendo assim uma segurança maior contra a ruptura de modo geral e, quando a força estabilizante for menor que a instabilizante, o material analisado perde sua estabilidade, que pode ocasionar os eventos de ruptura e dentro outros, segundo Guidicini e Nieble (1984).

Entretanto, o valor de FS pode variar de acordo com a função em potencial de ruptura, analisando as consequências que a mesma pode trazer, sendo elas o risco da perda de vida humana, ou possibilidade de perdas materiais e danos ambientais.

Sendo assim, o projeto deve se enquadrar nas classificações de segurança disponíveis na Figura 11 abaixo:

Figura 11 - Fatores de segurança (FS) mínimos para deslizamentos

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Alto	Médio	Baixo
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 11682 (2009).

Nesse sentido, para verificar a estabilidade de um talude, são adotadas as seguintes hipóteses (DUTRA, 2013, P.8):

- A superfície denominada potencial de ruptura já é conhecida e sua ocorrência se dá ao longo de uma superfície bem definida;
- A massa da rocha do talude se comporta como um material rígido-plástico e é rompido bruscamente sem que ocorra sua deformação;
- As equações de equilíbrio estático são aplicadas apenas até o momento em que o talude está na iminência de ruptura, em outras palavras, quando o FS é igualado a 1, quando a resistência que a massa do maciço rochoso possui se iguala a solicitação de força que é exercida sobre ele;
- Sustenta-se que o FS se mantém constante em toda a superfície potencial de ruptura, não sendo considerados possíveis fenômenos de ruptura progressiva.

Os MEL foram desenvolvidos ao longo do tempo para analisar a estabilidade de taludes. Inicialmente, foi proposto o método para análise de rupturas circulares proposto por Fellenius (1936), conhecido como método ordinário; posterior a isso, Morgenstern e Price (1965) propuseram cálculo utilizando forças entre lamelas. Entretanto, existem outras alternativas dentro do MEL, tendo como exemplo o Bishop Simplificado, presente em Bishop (1955), que é a introdução em relação às forças

normais até a base. O método geral atende a todas as equações do Equilíbrio Limite, onde a ruptura pode ter qualquer forma.

De acordo com a ABNT NBR 11.682 (2009), a análise dos parâmetros de resistência à ruptura —fatores que influenciam o movimento— é essencial para compreender deslocamentos de massa em situações de instabilidade. Para essa avaliação, podem ser empregados modelos matemáticos baseados no princípio do equilíbrio limite. Essa metodologia permite estimar os parâmetros de resistência do solo de forma equivalente, sendo aceitável adotar um fator de segurança FS= 1,00 para essa determinação.

Dyminski (2007) também elenca que para o critério de ruptura, em grande parte se adota Mohr-Coulomb. Esses parâmetros descrevem a resistência ao cisalhamento do solo/rocha em relação à fricção entre partículas e à força de coesão entre elas, sendo fundamentais para definição dos mecanismos de ruptura o qual será utilizado neste trabalho. Dyminski (2007) destaca também que a análise da estabilidade de um talude quando realizada por meio do equilíbrio limite abrange os chamados métodos tradicionais, aplicados para perfis homogêneos, como os circulares e para perfis quaisquer, utilizando métodos simplificados e/ou rigorosos.

Em correlação ao critério de avaliação de Mohr-Coulomb, Hoek e Brown (1980), estabeleceram uma relação empírica entre as tensões principais na ruptura a partir de um grande número de dados experimentais de ensaios em rocha intacta, descontinuidade nos maciços rochosos, e análises estatísticas, definida pela equação 2:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad 2$$

Onde: m, s e a = constantes que dependem do tipo e características geológicas-geotectônicas do maciço rochoso.

iii **Parametrização de maciços rochosos com fins de análise de estabilidade**

Fiori (2015) diz que um maciço rochoso é uma massa de rocha interrompida por juntas, falhas ou outros tipos de descontinuidades. Basicamente, é um agregado de

blocos com formatos geométricos irregulares com as propriedades da rocha intacta, alternados com zonas de rochas intemperizadas com propriedades físicas diferentes.

A descontinuidade é considerada o plano de fraqueza do maciço rochoso, e altera a resistência e deformabilidade dos maciços rochosos (FIORI, 2015). De maneira geral, as descontinuidades mais comumente encontradas nos maciços rochosos são falhas, juntas, foliações metamórficas e contatos litológicos, situações que geram alterações, como formas geométricas irregulares, zonas intemperizadas com graus diferentes, propriedades físicas diferentes, entre outras. Assim, as descontinuidades constituem o principal fator de controle de resistência mecânica e deformabilidade, além da alteração por processos magmáticos, intempéricos ou metamórficos (FIORI, 2015).

Juntas são configurações planares originadas pela aplicação ou liberação de tensões, ao longo das quais não ocorre praticamente nenhum deslocamento. (NORMANDO; SILVEROL; BORN; 2021). Ocorrem geralmente em famílias, sendo de grande importância na estabilidade de taludes. As famílias são, normalmente, paralelas ou subparalelas a falhas locais e apresentam relação genética com elas. (FIORI; 2015).

As principais características das descontinuidades, são: orientação (em relação a um determinado campo de esforços, tectônicos ou induzidos pela atividade humana), haverá descontinuidades (fraturas ou falhas) onde o deslocamento relativo de blocos será possível ou não, dependendo da sua orientação), espaçamento (define o tamanho e a forma dos blocos que compõem o maciço rochoso), rugosidade (relaciona-se às irregularidades e ondulações presentes na superfície da descontinuidade. Ela é um componente importante da resistência ao cisalhamento), e percolação da água (NIEHUES; 2019).

Plano de falhas são identificadas por movimentos que vão desde a menor escala até distâncias de quilômetros. As superfícies de falha atuam como canais para a infiltração de águas pluviais, o que, por sua vez, acelera o processo de alteração intempérica da rocha. Uma das características importantes para definir a resistência ao cisalhamento é a rugosidade da superfície. Se há abertura das juntas, pode haver percolação de água, modificação nas paredes, influenciando assim a resistência ao cisalhamento.

3. METODOLOGIA

a. Avaliação das Normativas Urbanísticas

Visto a grande importância do planejamento urbano no contexto das cidades, principalmente na atuação de forma direta em vários setores que influenciam na qualidade de vida da sociedade, seja no setor viário, comercial, habitacional, social e etc, como já dissertado neste trabalho, foi realizada uma análise dos dados referentes às etapas que foram efetivadas no momento de planejamento do Reassentamento de Paracatu de Baixo.

Dessa forma, os dados utilizados para consulta, de livre acesso ao público, foram provenientes do site da Câmara Municipal de Mariana (<http://leismunicipa.is/0fgth>) e do site da Fundação Renova, sendo feita uma avaliação minuciosa dos parâmetros adotados por tal fundação no momento da execução das obras, bem como os determinados em lei, sendo realizadas ainda visitas *in loco* para compreender melhor o processo do reassentamento e das etapas de planejamento urbano adotadas.

Ressalta-se que foi encontrado após busca completa nos meios legais disponíveis apenas a Lei Complementar nº 183 de 14 de dezembro de 2018, que aborda os critérios de uso e ocupação do solo do local em questão, sendo a mesma empregada nas análises realizadas e discutidas na etapa dos resultados

b. Inserção Regional

O subdistrito Reassentamento de Paracatu de Baixo, relaciona-se com o município de Mariana, Minas Gerais, pelas vias municipais asfaltadas que ligam o Reassentamento ao distrito de Monsenhor Horta (aproximadamente 8km), e ao trevo que interliga a via municipal à BR MG-262 (aproximadamente 7km). que dá acesso à sede do município

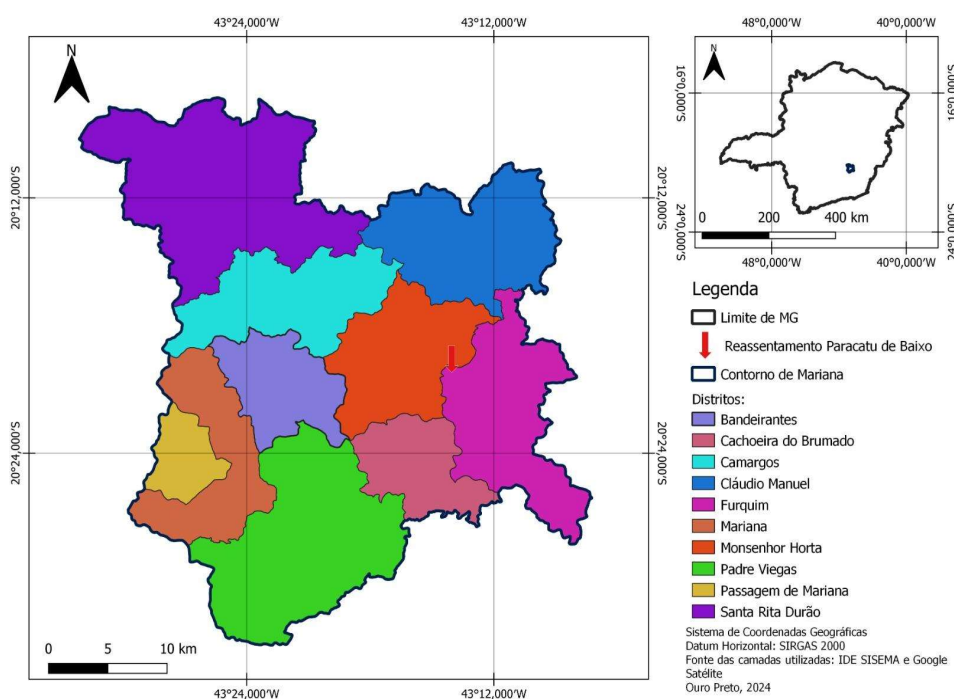
O subdistrito do Reassentamento faz ainda divisa com os distritos de Furquim (aproximadamente 14km), Águas Claras (aproximadamente 9km), Pedras (aproximadamente 11,5km), e com o Paracatu de Baixo atingido (aproximadamente 5,2km).

A relação do Reassentamento com as outras localidades ao redor, tanto pelos distritos limítrofes quanto com a sede municipal, se dão devido a questões

administrativas, vínculos históricos, oferta de serviços e social, tal como geração de empregos, compras e acesso à serviços público, ligações familiares, emocionais e pela oferta de emprego recorrente no Reassentamento, o que faz com que as pessoas residentes ao redor frequentem o subdistrito.

A via de acesso onde foi realizada a estabilização do maciço rochoso é a principal para o Reassentamento e é onde garante o acesso para três dos distritos limítrofes, sendo eles, Águas Claras, Monsenhor Horta e o Paracatu de Baixo atingido, representados pela Figura 12.

Figura 12 – Mapa dos distritos limítrofes



Fonte: Autora (2024)

c **Análise da Estabilidade do Talude**

Para assegurar a viabilidade do empreendimento, foi indispensável a criação de uma nova via de forma a permitir o acesso ao terreno do reassentamento, localizada na rodovia Monsenhor Horta, conforme ilustrado na Figura 13. Vale destacar que o eixo da via foi alocado em local que oferece maior custo-benefício aos usuários. Além disso, foram realizadas obras de estabilização dos maciços rochosos, conhecido popularmente como “obra da trincheira”, como evidenciado também na Figura 13.

Figura 13 – Representação dos taludes



Fonte: Adaptado de Fundação Renova (2023)

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi utilizado a metodologia MEL considerando os mecanismos de falha que podem ocorrer por diversos fatores, como a condição de carregamento e a geometria do talude. O critério utilizado para análise de estabilidade foi o modelo Mohr-Coulomb, que é utilizado para análise do comportamento de rochas e solos quando submetidos a esforços e deformações, visto que taludes rochosos são taludes finitos, onde há base, altura e crista definidos, e sua resistência é dependente da resistência ao cisalhamento, ao longo da face onde poderá ocorrer o escorregamento.

Utilizaram-se dois softwares livres para projeção estereográfica e análise de estabilidade do talude com método de Equilíbrio Limite, onde foi feito também o cálculo do Fator de Segurança, sendo eles respectivamente *Stereonet* e *Hyrscan*. Com o auxílio do software *Stereonet* foi possível projetar estereogramas, que permite representar a orientação de camadas de rochas, planos de falhas, fraturas, entre outros em um plano bidimensional, para então definir os tipos de possíveis rupturas,

sendo elas em cunha, planar ou por tombamento, conforme os critérios descritos anteriormente.

Utilizando o *Hyrscan*, que é um software gratuito para análise de estabilidade de taludes, foi possível avaliar o Fator de Segurança e possíveis falhas das superfícies, tendo como embasamento técnico para avaliar o Fator de Segurança a norma ABNT NBR 11.682 (2009).

Para utilização de tirantes, a fim de aumentar o FS e garantir a segurança, foram adotadas as recomendações técnicas presentes em ABNT NBR 5629 (2006) que estabelece os requisitos de projetos e execução para tirantes ancorados no terreno, aplicando-se em solos e rochas, visível por meio da Figura 13.

Nas Figuras 14 e 15 abaixo temos o local onde foi executado a estabilização dos taludes no Reassentamento, que é objeto deste estudo, como descrito anteriormente:

Figura 14 – Localização da trincheira – vista distante



Fonte: Adaptado de Fundação Renova (2023)

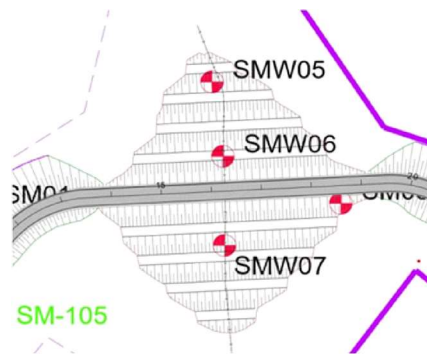
Figura 15 – Localização da trincheira – vista aproximada



Fonte: Adaptado de Fundação Renova (2023)

Inicialmente, foram realizados estudos geotécnicos anteriores a este trabalho, tal como relatórios provenientes de sondagens rotativas, em que os dados foram aproveitados na presente pesquisa. Na área de execução da estabilização de taludes, por meio da utilização de bússola, com seus dados representados por meio do Apêndice A, que contém as estruturas medidas a partir do mapeamento geológico e das fraturas, integrando os dados fornecidos de 3 sondagens rotativas executadas na crista do morro, representados na Figura 16 (TRINCHEIRA, 2020). Assim, foi possível estabelecer o perfil geológico geotécnico considerado para as análises de estabilidade.

Figura 16 - Localização das sondagens em relação ao talude



Fonte: Autora (2023)

Os dados obtidos pelo estudo geotécnico foram incluídos no software *Stereonet* 11. A partir disso, foram realizados estereogramas onde foi possível separar as descontinuidades por conjuntos (famílias). Considerando os dados presentes no Apêndice A, e que o grupo das descontinuidades foram estimados, separados em famílias. Sendo assim, separaram-se as famílias: verde, vermelha, amarela, roxa e azul, para a realização da análise cinemática considerando-se a média das famílias.

Para geração dos estereogramas, foram inseridos os tipos de planos, a nomenclatura da projeção, além de indicar os valores de *dip* e *dipdirection*. Os dados dos pólos foram obtidos através da ferramenta *poles*, no menu *calculation*. Para gerar o mapa de descontinuidades, através de conjuntos utilizou-se o botão direito no estereograma e *contour*, logo após clicou-se em *data sets*. Então temos definidas as famílias de descontinuidades, e para definirmos as interseções existentes, clicamos novamente em *calculation* e *all plane intersections*. A análise da estabilidade e definição das áreas possíveis de ruptura foi realizada utilizando o *slope stability* e inserção dos parâmetros necessários para o cálculo (*dip*, *dipdirection*, e ângulo de atrito). Para facilitar a análise, dividiu-se a trincheira em talude sul e norte. Sendo assim, temos para o talude norte famílias vermelha e azul e para o talude sul famílias roxa e vermelha.

A fim de atingir os objetivos deste trabalho, foi realizada a retroanálise no MEL, por meio do software livre *Hyrscan* para determinar os mecanismos de ruptura que acarretaram movimentos de massa no talude, utilizando como parâmetro um GSI= 25, $m_i=25$, fator de perturbação (D)=1 e módulo elástico intacto (E_i)=12000MPa. Dessa

forma, a retroanálise foi realizada seguindo as recomendações técnicas conforme recomendada na ABNT NBR 11.682 (2009), como: sondagem do solo, levantamento do talude rochoso, planejamento das atividades.

Logo após, foram utilizados os dados coletados em campo por meio dos estudos geotécnicos realizados e, mediante a posse de tais dados, prosseguiu-se com análise dos locais onde houve rupturas. O método utilizado para a realização das análises foi o Bishop Simplificado, contido em Bishop (1955)

Como foram identificadas áreas de ruptura, entende-se que o FS era igual a 1 no momento antes da ruptura, e então ajustou-se os parâmetros para realizar a retroanálise e chegar no FS mais próximo de 1. Para que fosse realizada a retroanálise por meio do *Hyrscan*, foi desenhado o talude no software e, para acrescentar as camadas conforme os estudos geotécnicos (sondagens) realizadas no local, clicou-se em *define material properties*. Onde utilizou-se o Apêndice A como base, Mohr-Coulomb para solos e Hoek e Brown para rochas. Cabe destacar que a litologia dos taludes foi identificada por meio de análise tátil visual.

Para o Talude Sul, onde houve a ruptura, no material determinado como saprólito, adotou-se *unit weight* igual a 20kN/m^3 , a coesão igual a 3kPa , e o ângulo de atrito igual a 15° . Depois de vários testes, o FS continuou com o valor elevado, e então alterou-se os parâmetros da segunda camada do desenho (granito) tendo como base o site livre *Ormas V1.1*, onde foram utilizados os parâmetros disponibilizados no mesmo de acordo com os dados das sondagens. Alterou-se então *unit weight* para 26, utilizando Hoek e Brown, resistência a compressão uniaxial de 2000KPa , $m_b=0,128$ e $a=0,5223$. Mesmo com as alterações o FS continuava alto, realizou-se então mais alterações para a adequação do mesmo. Alterando então o último material, onde adotou-se para a resistência o valor de 5000KPa , $m_b=0,3441$ e $a=0,5114$.

Finalizada a retroanálise, para que o programa procure possíveis locais para rupturas, foi-se em *analysis, Project settings, methods, Search method* e trocamos para *slope search* e foi-se em *apply*. Em seguida, adicionou-se os tirantes no talude, como solução adotada para aumento da segurança.

4. RESULTADOS

a Avaliação das Normativas Urbanísticas

Após o rompimento da barragem em Mariana, foi iniciado um intenso trabalho envolvendo vários entes da sociedade de tal cidade, principalmente os moradores de Paracatu de Baixo, como já descrito neste trabalho. Como parte deste, foi gerado alguns produtos que foram fundamentais para os critérios adotados no momento da reconstrução do local, dentre eles pode-se listar um grande instrumento norteador, a Lei Complementar nº 183 de 14 de dezembro de 2018, que trouxe consigo várias contribuições (MARIANA, 2023).

Uma vez que o distrito precisou ser reconstruído e considerando as necessidades atuais das cidades, a lei supracitada foi criada complementando o Plano Diretor do município de Mariana, trazendo instruções relativas ao processo de uso e ocupação do solo, criando a Área de Diretrizes Especiais - ADIES (MARIANA, 2023), destinada a implantação do reassentamento, normatizando todo o processo de construção do local.

A lei em questão trouxe consigo determinações relacionadas ao processo de aquisição dos lotes, bem como critérios de construção das residências, equipamentos públicos, vias urbanas, além de elencar as restrições que possam existir ao longo da etapa de reassentamento, indicando os meios em que a Fundação Renova, responsável por toda a construção, possa recorrer, como em casos que necessite de aprovações não contempladas na Lei Complementar nº 183.

Mediante estudo da normativa em questão e por meio de relato de moradores do local, coletados mediante entrevistas avulsas em campo, pode-se notar a carência de critérios relacionados à vida rural, uma vez que Paracatu de Baixo contava com um cotidiano majoritariamente rural, sendo este ponto não contemplado em lei, descrito apenas a permissão para a criação de animais dentro da ADIES, sendo permitidos a criação de equinos, bovinos, muares, suínos, caprinos, ovinos, peixes e aves (MARIANA, 2023), sendo então desconsiderado em partes o modo de vida rural dos moradores de reassentamento.

Nesse sentido, foram elencados no Quadro 1 os principais parâmetros encontrados na Lei Complementar nº 183 de 14 de dezembro de 2018, que foram

observados na presente lei e que merecem destaques, por influenciar diretamente no processo de uso e ocupação do solo do reassentamento.

Quadro 1 - Parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo do Reassentamento de Paracatu de Baixo

	TAMANHO DO LOTE (m²)				
	<=500	501<x<=1000	1001<x<=2000	2001<x<=5000	>5001
TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA DO LOTE - TO	70%	60%	50%	40%	30%
TAXA DE PERMEABILIDADE MÍNIMA DO LOTE – TP	15%	25%	30%	45%	65%
COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO – CA	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3
TESTADA MÍNIMA PARA NOVO PARCELAMENTO E/OU DESMEMBRAMENTO	12,00 metros				
GABARITO (altura máxima das edificações)	12,00 metros				
AFASTAMENTOS MÍNIMOS (distância da volumetria edificada em relação à divisa do lote)					
FRONTAL E FUNDOS	LIVRE				
LATERAIS	1,50m (um ou dois pavimentos)				
	1,80m (três pavimentos)				
	2,10m (quatro pavimentos)				
PARCELAMENTO DO SOLO					
LOTE MÍNIMO	250,00m²				
DESMEMBRAMENTO APÓS O PARCELAMENTO DO SOLO PARA IMPLANTAÇÃO DO REASSENTAMENTO					
LOTE MÍNIMO	250.00m²				

Fonte: Adaptado de Mariana (2023)

Com isso, diversos parâmetros foram elencados por tal lei municipal e, pode-se destacar as recomendações em relação aos lotes, que foram criadas por intervalo de área dos mesmos, variando de áreas iguais ou inferiores a 500 m² até áreas superiores a 5001 m², sendo a área mínima para os lotes de 250 m², tanto para o lote parcelado inicialmente como para o lote gerado mediante desmembramento.

Para ambos os tipos de lotes, dentro das áreas descritas, a lei 183 listou parâmetros como a taxa de ocupação máxima (TO), taxa mínima de permeabilidade (TP) e coeficiente de aproveitamento (CA), cada qual diferente para cada intervalo de área, como por exemplo, para um lote de área igual ou inferior a 500 m², a TO é de 70%, a TP de 15% e o CA de 1,0.

A testada mínima e o gabarito máximo tanto para os lotes parcelados inicialmente como para os lotes gerados mediante desmembramento e de 12 metros em ambos os casos. Os afastamentos mínimos frontais e de fundos é livre para ambos em casos, já os laterais variam de acordo com o número de pavimentos, sendo de 1,50 metros para as residências de 1 ou 2 pavimentos, de 1,80 metros para residências de 3 pavimentos e 2,10 metros para 4 pavimentos.

Foi designada à Comissão de Gestão Territorial a resolução dos itens não contemplados em lei orgânica municipal e que possam surgir ao longo do processo de implantação do loteamento, como é o caso de lotes que não se enquadram nos parâmetros contidos no Quadro 1, os perfis das vias de transporte, bem como outro importante ponto do planejamento urbano, os espaços públicos, que poderão ter seus parâmetros urbanísticos avaliados por tal comissão.

Os espaços de uso público são importantes locais de socialização entre os moradores, principalmente no caso de Paracatu de Baixo, que possui uma característica mais rural, merecendo atenção em toda a etapa de concepção, cabendo então a Comissão de Gestão Territorial gerir este processo, alinhada com as determinações presentes na Lei Complementar Municipal nº 16 de 2004, de acordo com Mariana (2023).

Destaca-se que a localização dos equipamentos públicos é na parte central do reassentamento, local em que se concentram escolas tanto de nível infantil como de nível fundamental, além também de equipamentos de saúde, no caso de Paracatu de Baixo o equipamento existente é um posto de saúde. Fazendo parte ainda dos espaços públicos importantes em uma sociedade, destaca-se a existência de uma praça de esportes no local, instrumento essencial para a prática esportiva, socialização entre as crianças, jovens e adultos.

As características de Paracatu de Baixo antes do ocorrido em 2015 foram cruciais para a formulação do novo projeto urbanístico, como já destacado, contudo, algumas mudanças foram necessárias, como já previstas na lei supracitada, motivadas pelas características do terreno atual, por exemplo. De posse das características apontadas pelos moradores ao longo de diversos encontros e em frente com as legislações vigentes, os projetos foram formulados e, dentre eles destaca-se neste trabalho o projeto viário.

Frente aos dados discutidos anteriormente e de acesso disponível para toda sociedade, uma vez que não se trata de um processo comum de ocupação, lidando com pessoas que sofreram perdas pessoais e materiais, pode-se dizer que o processo do planejamento urbano do Reassentamento de Paracatu de Baixo foi dado de forma aceitável, uma vez que envolveu a comunidade na tomada de decisões, levando em conta as legislações vigentes e realizando as adaptações cabíveis ao local, de modo que seja mantida ao máximo a originalidade do local, suavizando o cenário de perda implantado no local.

b Análise da Inserção regional

A estrada que conduz ao Reassentamento de Paracatu de Baixo, local onde ocorreu a estabilização do maciço rochoso, é a principal via de acesso ao subdistrito. A estabilização desse itinerário demonstrou-se preponderante para garantir não apenas a integridade, mas também a viabilidade do percurso, assumindo caráter imprescindível para os residentes. A segurança dos usuários da estrada e a funcionalidade do percurso representam aspectos de suma importância para a comunidade.

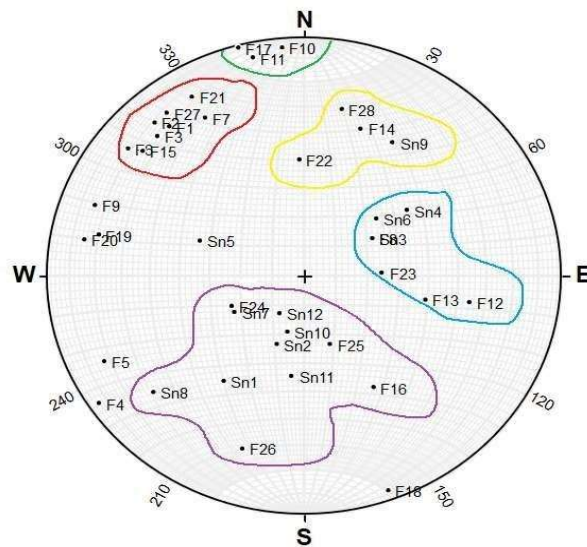
A estabilização do maciço rochoso desempenha função principal de forma a manter uma comunicação rodoviária segura da comunidade reassentada com as outras unidades urbanas do entorno.

c Análise da Estabilidade dos Taludes

Nesse sentido, tendo em vista toda a etapa metodológica supracitada, na sequência são apresentados os dados obtidos a partir dos procedimentos adotados na metodologia. Inicialmente, foi analisada a superfície de ruptura considerando os dados geotécnicos obtidos a partir de estudos da área onde houve a ruptura de um

dos taludes após obras de estabilização. Com isso, os estereogramas obtidos são visualizados através da Figura 18, com a visualização das descontinuidades por famílias, descritas na etapa metodológica, sendo as famílias representadas nas cores verde, vermelha, amarela, roxa e azul.

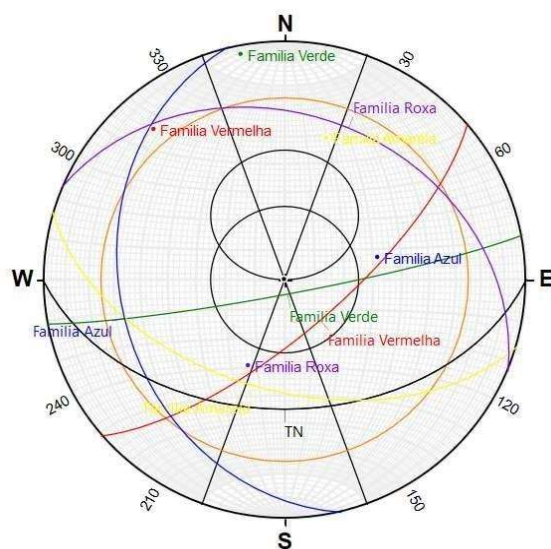
Figura 18 – Separação das descontinuidades em famílias



Fonte: Autora (2023)

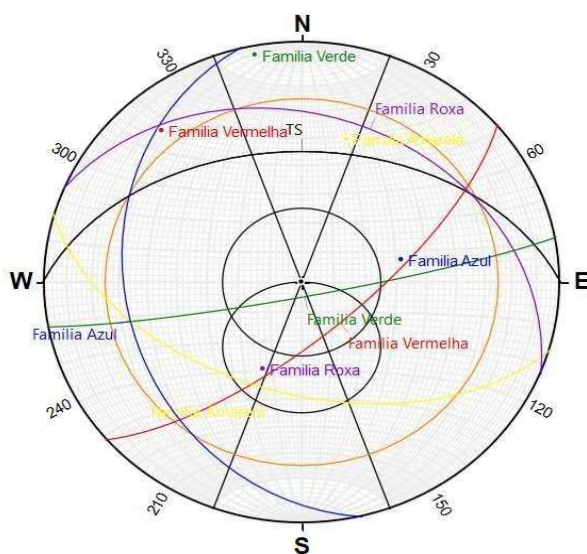
Com a separação dos taludes em norte e sul, como já descrito, a análise cinemática realizada em cada um deles é representada pelas Figuras 19 e 20 respectivamente. Por meio da análise cinemática é possível destacar que ambas as famílias apresentam compatibilidade cinemática à ruptura em cunha, já a família verde, por sua vez, apresenta compatibilidade à ruptura em tombamento flexural.

Figura 19 – Separação das descontinuidades em famílias - Talude Sul



Fonte: Autora (2023)

Figura 20 – Separação das descontinuidades em famílias - Talude Norte



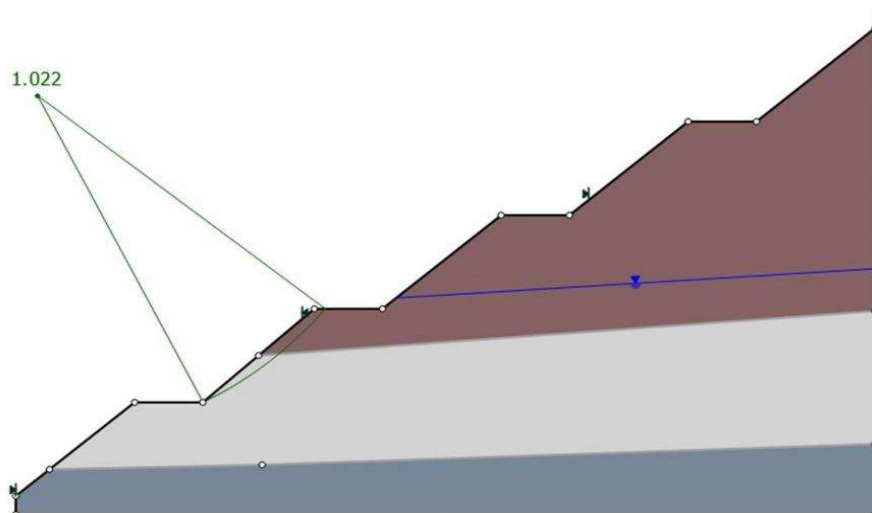
Fonte: Autora (2023)

As rupturas identificadas no Talude Sul mostram preenchimento por biotita, com rompimento do bloco de aproximadamente 12m de extensão, comprometendo a bancada do talude superior. A segunda ruptura identificada abrange cerca de 27m de extensão. Essa ruptura se deu no plano de contato entre a rocha sã e a rocha alterada, afetando o pé da segunda berma.

Para garantir maior segurança para as pessoas que utilizarão a via de acesso ao Reassentamento, foram propostos estudos geotécnicos e técnicas para estabilização dele. A técnica que garante a estabilidade do mesmo e a segurança adotada nos estudos, foi a da cortina atirantada, onde são utilizados tirantes para aumento da resistência.

Com isso, o Fator de Segurança do Talude Sul, no local onde houve ruptura, está representado na Figura 21, sendo necessário destacar o valor encontrado, de 1,022, demonstrando com isso a necessidade de obter parâmetros que retornam segurança aos usuários da via, uma vez que eventos externos podem acontecer, seja ele causado pelo meio ambiental ou humano.

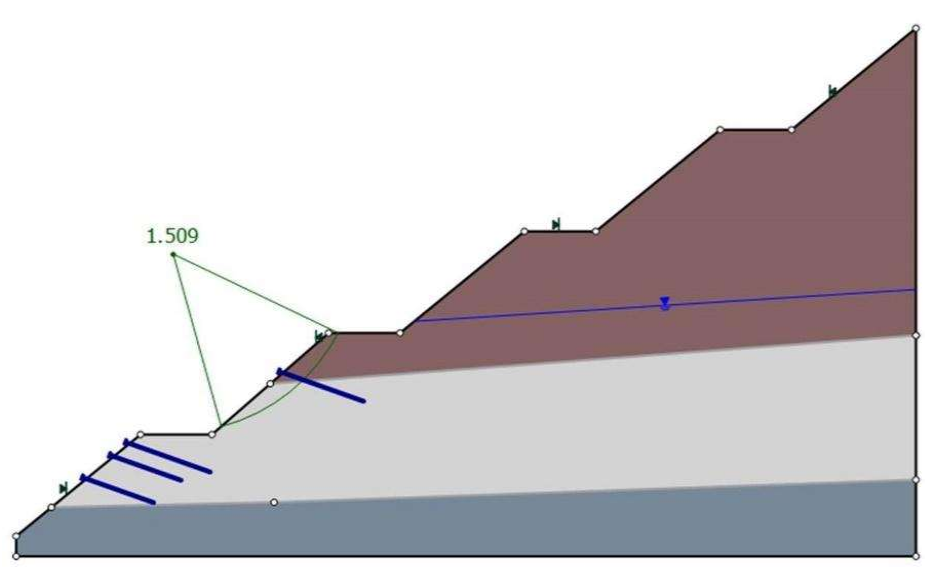
Figura 21 – Cálculo do FS no Talude Sul – onde houve ruptura



Fonte: Autora (2023)

Realizando a retroanálise, foi possível estimar o parâmetro de resistência do material que se rompeu, considerando coesão igual a 3kPA e um ângulo de atrito de 15° resultando em um FS aproximado de 1,022. Logo após, utilizou-se esse parâmetro de resistência estimado anteriormente para realizar a análise de estabilidade final, onde, considerou-se a utilização de tirantes, vendo o FS passar de aproximadamente 1,022, onde há risco iminente de ruptura, para 1,509, visualizado por meio da Figura 22.

Figura 22 – Cálculo do FS após inserção dos tirantes



Fonte: Autora (2023)

Pela utilização dos tirantes, é notório o aumento do FS, saindo de um valor de 1,022 para um valor de 1.509, ou seja, um aumento considerável e que retorna um nível de segurança notadamente maior, demonstrando assim a eficiência do tirante inserido. Foram ainda executadas 5 bermas de cada lado, sendo que as duas inferiores foram estabilizadas com concreto projetado, e as 3 superiores com cobertura vegetal.

Para a recuperação dos trechos rompidos e estabilização dos trechos na iminência de ruptura no talude sul foi proposta a utilização de quatro tirantes do tipo monobarra para 50tf, com inclinação de 20° com a horizontal e distanciamento de 1,5m. A utilização deste tipo de reforço, empregando a geometria apresentada neste trabalho, mostrou resultados muito satisfatórios, atendendo aos critérios de segurança estabelecidos em ABNT NBR 11682 (2009). Indica-se que a execução dos tirantes deverá ser realizada seguindo os critérios da norma brasileira contida em ABNT NBR 5629 (2006).

Os resultados obtidos a partir da execução do estudo foram extremamente satisfatórios após realizada a análise dos mesmos, visto que tal seguiu as normas e diretrizes estabelecidas, listadas na etapa metodológica. Importante ressaltar que para pessoas que têm como destino cidades no entorno, como Acaiaca, Ponte Nova

e entre outras, seriam economizados aproximadamente 25km de distância, demonstrando assim que essa via de acesso possui um grande potencial de utilização, frente à economia de tempo de deslocamento que a mesma vai trazer, ao mesmo tempo economia financeira, retornado assim a importância de conferir aos usuários desta via a maior segurança possível.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento deste estudo de caso com fins exclusivamente acadêmicos, foi possível verificar a importância do planejamento urbano adequado e condizente com a realidade local, como foi o caso do reassentamento, que apresentou necessidades particulares, como realizar os projetos com a máxima semelhança com o antigo local, além de toda a etapa de encontros com os moradores para alinhar as melhores escolhas em diversos âmbitos.

Nesse sentido, destaca-se que os objetivos foram atingidos seja pela análise das legislações urbanísticas do reassentamento, seja nos estudos de estabilização do talude, que retornar com a segurança da local, além de acessibilidade à população que utilizará a via de acesso ao Reassentamento de Paracatu de Baixo.

O auxílio dos softwares livres *Stereonet* e *Hyrca* trouxeram incontáveis facilidades para o desenvolvimento do trabalho apresentado, podendo ser realizadas as projeções estereográficas e cálculo de estabilidade de maneira a facilitar o entendimento e execução. Importante destacar que, é necessário o entendimento do executor para interpretação dos resultados.

Com a inserção dos tirantes utilizando monobarras de 50tf com inclinação de 20° horizontais, vimos o FS aumentar significativamente e atingir $FS=1,509$, fato que nos mostra a eficiência do mesmo, retornando então a segurança do talude, estando bem estabilizado uma vez que o FS foi superior a 1,0.

6. REFERÊNCIAS

ALKIMIM, F. F., MARSHAK, S. Transamazonian Orogeny in the southern São Francisco Craton region, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90, 29-58, 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5629: execução de tirantes ancorados no terreno. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.

BLAUDT, L. M; ALVARENGA, T. W; GARIN, Y. Desastre ocorrido em Petrópolis no verão de 2022: Aspectos gerais e dados da defesa civil. *Geosciences= Geociências*, v. 42, n. 01, p. 59-71, 2023.

BISHOP, A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, v.5, n.1, p.90-128, 1955.

BOARETO, R. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. *Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano 30/31*, 2008.

CARVALHO, Christiano Ottoni. CIDADES INTERMÉDIAS NO SUL GLOBAL: os casos de Teófilo Ottoni, (Minas Gerais, Brasil), Caála (Huambo, Angola) e Toowoomba (Queensland, Austrália). 2018. 198 p. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, [S. I.], 2018.

COSTA, D. B. Análise da deformação permanente de misturas asfálticas a partir dos critérios de Mohr Coulomb. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

COULOMB, C. A. Essai sur une application des règles de maximis et minimis à la statique, 1776.

DORR J. V. N. II. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. Professional Paper 641-A. 110p, 1969.

DUTRA, V. A. S. Projeto de estabilização de taludes e estruturas de contenção englobando dimensionamento geotécnico e estrutural. 2013. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. 42

DYMINSKI, A. S. Noções de estabilidade de taludes e contenções. Universidade Federal do Paraná, Notas de Aula, Estabilidade de Taludes, 2007.

FELLENIUS, M. Calculation of stability of earth dams. In: CONGRESS OF LARGE DAMS, 2, Washington. Proceedings.... Washington, 1936, v. 4, p. 445- 463, 1936

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L.. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes. 3ª. ed. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 576 p, 2015.

FUNDAÇÃO RENOVA. A construção de Bento Rodrigues. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org>. Acesso em 20 mar. 2023.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 03 mar. 2023.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Editorial Edgard Blucher. 2ª edição, São Paulo, 195 p, 1984.

HEINECK C.A.; SILVA L.C.; LEITE C.A.; VIERA V.S.; SILVA M.A.; BAARS F.J.; PERROTTA M.; SALVADOR E.D.; LOPES R.C.; SILVA M.G.M.; VALENTE C.R.;

Hoek, E. & Brown, E. T., 'The Hoek-Brown failure criterion' a 1988 update. Proc. 5th Can. Rock Mech. Symp, University of Toronto, pp. 31-38, 1988.

Hoek, E. & Brown, E. T., 'Underground excavations in rock'. London, UK. The Institution of Mining & Metallurgy, 527p., 1980.

IBGE. (2021). *Divisão do Brasil em Regiões, Microrregiões e Municípios*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>

LACERDA FILHO J.V.; DRUMMOND J.B.V. COMIG – Mapa Geológico de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000 CD ROM, 2003.

JANBU, N. (1973). Slope stability computations. Embankment Dam Engineering.

JÚNIOR, J. C. U. Planejamento da paisagem e planejamento urbano: reflexões sobre a urbanização brasileira. Revista Mato-Grossense de Geografia, v. 17, n. 01, 2014.

LOPES, L. M. N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. Sinapse Múltipla, v. 5, n. 1, p. 1-1, 2016.

MARIANA. Câmara Municipal de. Disponível em: <http://www.camarademariana.mg.gov.br/>. Acesso em 27 de jul. 2023.

MEDEIROS JÚNIOR, E. B.; EVANGELISTA, H. J. Petrografia e geoquímica dos granulitos do Complexo Acaiaca, região Centro-Sudeste de Minas Gerais. Rem: Revista Escola de Minas, v. 63, p. 219-228, 2010.

MORGENSTERN, N.R.; PRICE, V. E. The analysis of the stability of general slip surfaces. Geotechnique, v. 15, n. 1, p. 79-93, 1965. 43

MOHR, C. "The Failure of Brittle Materials." Journal of the American Ceramic Society, 1900.

NIEHUES, Beatriz. Caracterização, parametrização e análise da estabilidade de um talude rochoso do contorno rodoviário de Florianópolis, em São José - SC. 2019. Tese (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2019.

NORMANDO, Lanna C.; SILVEROL, Aline C.; BORN, Cristiano R.; et al. Mecânica das Rochas.: Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9786556901657. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556901657/>. Acesso em: 29 jan. 2024.

OLIVEIRA A.M.S., MONTICELI J.J. Geologia de engenharia e ambiental, vol. 2. São Paulo, ABGE, 912 p, 2018.

OLIVEIRA, N; C. D. Soluções para a estabilização de taludes em linhas férreas. Dissertação (Mestrado). Faculdade de engenharia. Universidade do Porto. 2010.

TRINCHEIRA, ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE. (2020). Relatório Técnico de contenções. Mariana - MG. Arquivo confidencial. ROESER, H. M. P.;

RODRIGUES, André. A vivência das populações deslocadas pela Usina Hidrelétrica de Itá: uma análise sobre o processo de reassentamento e saúde mental. Revestudsoc, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://journals.openedition.org/revestudsoc/28125>. Acesso em: 25 fev. 2025.

ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero-MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. 2010. Geonomos v.18, n. 1:p. 33-37, 2010.

SANTOS, A. S. P.. Planejamento urbano: para quê e para quem? Revista de BRASIL DE FATO. Segundo reassentamento de atingidos por barragens do Paraná completa 25 anos. *Brasil de Fato - PR*, 22 dez. 2017. Disponível em: <https://www.brasildefatopr.com.br/2017/12/22/segundo-reassentamento-de-atingidos-por-barragens-do-parana-completa-25-anos#:~:text=O%20MAB%20estima%20cerca%20de,barragem%E2%80%9D%2C%20informa%20Rodrigo%20Zancanaro>. Acesso em: 9 fev. 2025.

Souza, M. L. S. A Hidrelétrica Belo Monte e o reassentamento de comunidades afetadas: análise dos impactos sociais e ambientais. In: 35º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2011, São Paulo. Anais do ENEGEP. São Paulo: ABEPRO.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley.

APÊNDICE A - COLETA DE DADOS ESTUDO GEOTÉCNICO

Mergulho	Direção	Distância	Tipo	Superfície
70	140	0,2	Fratura	Lisa
75	138	2	Fratura	Lisa
70	136	1	Fratura	Lisa
85	56	1	Fratura	Lisa
74	65	2	Fratura	Lisa
45	35	0,1	Sn	Biotita
25	20	0,2	Sn	Biotita
25	240	2	Sn	Ruptura
75	128	2	Fratura	Lisa
65	150	1	Fratura	Lisa
25	240	1	Fratura	Lisa
75	110	1	Fratura	Lisa
85	175	1	Fratura	Lisa
40	236	0,5	Sn	Lisa
82	168	1	Fratura	Lisa
55	280	1	Fratura	Lisa
40	282	1	Fratura	Lisa
35	110	1	Sn	Lisa
55	200	1	Fratura	Lisa

70	130	1	Fratura	Lisa
45	330	1	Fratura	Lisa
88	165	1	Fratura	Lisa
30	230	0,5	Sn	Rugosa
25	60	0,5	Sn	Rugosa
65	50	0,5	Sn	Rugosa
55	212	0,5	Sn	Rugosa
85	340	1	Fratura	Lisa
70	102	1	Fratura	Lisa
75	100	1	Fratura	Lisa
75	150	1	Fratura	Lisa
40	178	1	Fratura	Lisa
20	15	1	Sn	Biotita
6	35	1	Sn	Rugosa
15	30	1	Sn	Biotita
25	268	1	Fratura	Lisa
25	65	1	Fratura	Lisa
25	340	1	Fratura	Lisa
65	18	1	Fratura	Lisa
75	142	1	Fratura	Lisa
60	192	1	Fratura	Lisa